

Prüfverfahren für die Entwicklung von Fugen- und Injektionsmörtel für historisches Natursteinmauerwerk

Prüfung von Verbundeigenschaften und der Injektionseignung

Dezember 1991

Dr.-Ing. P. Schubert, Dipl.-Ing. A. Dominik (ibac RWTH Aachen)

Dr.-Ing. H. Budelmann, Dipl.-Ing. D. Weiß (iBMB/MPA TU Braunschweig)

Prof. Dr. rer. nat. D. Knöfel, Dipl.-Min. J. Trautmann (Universität - GH Siegen)



Siegen
- BCS -



ibMB

TU BRAUNSCHWEIG

Prüfverfahren für die Entwicklung von Fugen- und Injektionsmörtel für historisches Natursteinmauerwerk

Prüfung von Verbundeigenschaften und der Injektionseignung

Dezember 1991

Dr.-Ing. P. Schubert, Dipl.-Ing. A. Dominik (ibac RWTH Aachen)

Dr.-Ing. H. Budelmann, Dipl.-Ing. D. Weiß (ibMB/MPA TU Braunschweig)

Prof. Dr. rer. nat. D. Knöfel, Dipl.-Min. J. Trautmann (Universität - GH Siegen)

Inhalt

Einleitung, Zielsetzung

Prüfverfahren zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit von Restauriermörteln

Dr.-Ing. P. Schubert, Dipl.-Ing. A. Dominik
Institut für Bauforschung - ibac -
RWTH Aachen

Prüfung der Haftzugfestigkeit von Fugenreparaturmörteln

Dr.-Ing. H. Budelmann, Dipl.-Ing. D. Weiß
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - iBMB -
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen
TU Braunschweig

Messung thermischer und hygrischer Dehnungen an Mörtel/Stein-Verbundkörpern

Dr.-Ing. H. Budelmann, Dipl.-Ing. D. Weiß
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - iBMB -
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen
TU Braunschweig

Testmethoden für Injektionsmörtel

Prof. Dr. rer. nat. D. Knöfel, Dipl.-Min. J. Trautmann
Labor für Bau- und Werkstoffchemie - BCS -
Universität - GH Siegen

Einleitung und Zielsetzung

Erhaltungsmaßnahmen an historischen Bauwerken aus Natursteinmauerwerk beinhalten oftmals die Nacharbeitung bzw. die Erneuerung der Fugen an der Mauerwerkansichtsfläche sowie die Injektion von Mörtel in klüftiges Mauerwerk.

Der in die vorderen Zentimeter des Mauerwerks eingebrachte Mörtel (Verfugmörtel) ist im allgemeinen nicht wesentlich am Lastabtrag beteiligt, doch kommt ihm eine Reihe anderer, wichtiger Aufgaben zu. So hat er den äußeren Abschluß der Mauerwerks und den Witterungsschutz zu gewährleisten. Geeigneter Verfugmörtel muß beständig gegen im Mauerwerk vorhandene Stoffe und mit diesen chemisch verträglich sein, er soll problemlos verarbeitbar sowie ferner in wichtigen physikalischen und mechanischen Eigenschaften an den Naturstein angepaßt sein. Eine Grundforderung ist die rißfreie Haftung des Verfugmörtels am Stein, auch nach langzeitiger Witterungseinwirkung (Temperaturänderungen, Einwirkungen von Feuchtigkeit, Schadstoffen, Frost etc.). Die Qualität des Haftverbundes zwischen Verfugmörtel und Stein muß bei der Mörtelentwicklung und -erprobung stets an Mörtel-Stein-Verbundkörpern beurteilt werden. Dafür verwendete Steine sollten jene des Anwendungsfalles oder aber solche mit ähnlichen Eigenschaften sein.

Die Mörtelinjektion erfolgt meist in eine klüftige Innenschale mehrschaligen Mauerwerks und dient der Gefügekonsolidierung sowie oftmals einer Verstärkung/Stabilisierung im Zusammenwirken mit einer *Vernadelung oder Vorspannung*. *Injektionsmörtel müssen fließfähig sein, möglichst weite Fließstrecken auch in kleinen Spalten und Klüften zurücklegen können und sollen nach dem Aushärten einen innigen Verbund mit den umliegenden Materialien aufweisen.* Dabei soll möglichst wenig Überschußwasser in das Mauerwerk eingetragen werden, das für die Mörtelerhärtung nicht benötigt wird. Also müssen auch die bei der Entwicklung und Erprobung von Injektionsmörteln angewendeten Prüfmethoden möglichst weitgehend die im Mauerwerksinneren anzutreffenden Verhältnisse berücksichtigen.

Im Rahmen des vom BMFT geförderten Forschungsverbundes zur Erhaltung historischer Natursteinbauwerke arbeiten mehrere Forschungseinrichtungen an der Entwicklung und Erprobung von Fugen- und Injektionsmörtel. Im vorliegenden Heft werden hierbei in Aachen, Braunschweig und Siegen angewendete Prüfverfahren vorgestellt, die den Verbund Mörtel/Stein betreffen bzw.

einbeziehen. Das Heft soll Anregung und Hilfestellung für diejenigen sein, die Mörtel für die Denkmalpflege entwickeln, prüfen und anwenden.

Die Diskussion der nachfolgend beschriebenen Prüfverfahren wird ausdrücklich erbeten.

Prüfverfahren zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit von Restauriermörteln

A. Prüfverfahren ibac - 1

1. Allgemeines, Zweck

Mit dem Prüfverfahren wird die Haftzugfestigkeit von Restauriermörtel - vorzugsweise Verfugmörtel - im Verbund mit Naturstein ermittelt. Die Haftzugfestigkeit ist eine wichtige Eigenschaftsgröße zur Beurteilung der dauerhaften Wirksamkeit von Restauriermörteln, vor allem im Außenbereich von Natursteinmauerwerk. Mit der Haftzugfestigkeit und ggf. anderen Eigenschaftskenngrößen sind Aussagen über die Reißempfindlichkeit des Mörtels möglich.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

In einer besonderen Herstelleinrichtung wird zwischen zwei fixierten Natursteinproben der Restaurier- bzw. Verfugmörtel praxisnah eingebracht. Nach bestimmten, wahlweise festzulegenden Erhärtungs- und Nachbehandlungsbedingungen sowie Temperatur- und Feuchtebeanspruchungen wird an den Prüfkörpern die Haftzugfestigkeit ermittelt. Zusätzlich zur Haftzugfestigkeit kann auch eine Spannungs-Dehnungs-(bzw. Verformungs-)Kennlinie ermittelt werden.

3. Geräte

Herstellvorrichtung nach Bild 1 und 2; Zugprüfmaschine, deren Prüfempfindlichkeit ausreichend auf die zu erwartenden Haftzugfestigkeitswerte abgestimmt ist sowie diverse Einrichtungen für eine ggf. vorzusehende Temperatur- und Feuchtebeanspruchung.

4. Prüfkörper

4.1. Maße, Herstellung, Anzahl

Maße

2 Natursteinproben mit den Maßen von etwa: Länge 100 mm, Breite 50 mm, Höhe 50 mm; zwischenliegende Mörtelfuge: je nach Untersuchungsziel i. a. zwischen 10 und 20 mm.

Herstellung

Die Prüfkörperherstellung, d. h. im wesentlichen die Verfugung, sollte praxisnah erfolgen (z. B. Einbringen des Verfugmörtels mit Fugeisen von Hand). Bei der Herstellung sind eine Reihe verschiedener Einflußgrößen auf die Haftzugfestigkeit zu beachten und ggf. zu variieren. Dies sind z. B.: Die Rauigkeit der Natursteinproben (sägerauh, besonders bearbeitet etc.), die Vorbehandlung der mörtelseitigen Steinflanken vor dem Vermörteln (Abblasen, Vornässen, Auftrag von Vorbehandlungsmitteln).

Anzahl

Die Prüfkörperanzahl sollte i. a. mindestens 5 bis 6 betragen.

4.2. Lagerung

Die Prüfkörper sollten bis zur Prüfung in der Herstelleinrichtung verbleiben, um in etwa bauseitige Verhältnisse nachzustellen - weitgehend eingespannte Natursteine im Mauerwerk. Die Prüfkörper können unterschiedlich nachbehandelt und beansprucht werden, siehe unter Abschnitt 2. Als Standardvorlagerungen werden empfohlen:

- a) bis zum Alter von 1 Tag im Feuchteschrank bzw. in der Feuchtekammer im Klima 20/95,

- b) bis zum Alter von 3 Tagen wie unter a) gelagert. Danach Lagerung bis zum Alter von 28 Tagen im Normalklima 20/65.

Besondere Beanspruchungen der Prüfkörper sollten i. a. ab einem Alter von 28 Tagen angewendet werden. Solche Beanspruchungen können sein:

- verstärktes Schwinden, z. B. im Klima 20/30;
- Temperaturwechselbeanspruchung, z. B. zwischen +10 °C und +60 °C - siehe auch Prüfverfahren A 12 in /1/ sowie eine Frosttauwechselbeanspruchung z. B. nach Prüfverfahren A 7 in /1/.

5. Prüfung

5.1 Durchführung

Der Prüfkörper ist senkrecht zur Lagerfuge stetig auf Zug zu belasten, bis der Bruch eintritt. Die Prüfdauer soll etwa 1 min betragen. Die Einleitung der Zugkraft auf die Natursteinproben kann durch angeklebte Stahlplatten, die gelenkig an die Zugprüfeinrichtung angeschlossen werden, oder durch Zugklemmbacken z. B. analog zum Prüfverfahren in /2/ erfolgen. Soll auch die Dehnung bzw. Verformung im Mörtelfugenbereich mitbestimmt werden, so sollte dies vorzugsweise über eine entsprechende Anklammervorrichtung erfolgen.

5.2 Ergebnis, Auswertung

Aus der Höchstkraft $\max F$ und der beanspruchten Haftzugfläche ist die Haftzugfestigkeit

$$\beta_{\text{HZ}} = \frac{\max F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

zu errechnen. Anzugeben sind Einzelwerte und Mittelwert. Das Bruchbild (Bruchstelle) ist zu beschreiben. Bei zusätzlicher Ermittlung von Dehnungen bzw. Verformungen sind diese ebenfalls für den einzelnen Prüfkörper und, soweit sinnvoll, gemittelt anzugeben und graphisch darzustellen. Aus

den Versuchsergebnissen sind nach Möglichkeit zusätzliche Kennwerte wie E-Modul und Dehnung bei Höchstspannung zu bestimmen und anzugeben.

Weitere wichtige Angaben sind:

- Kennzeichnung der verwendeten Natursteinproben und des Mörtels,
- Herstellbedingungen,
- Lagerungsbedingungen und
- ggf. besondere Beanspruchungen.

B. Prüfverfahren ibac - 2

1. Allgemeines, Zweck

Mit dem Prüfverfahren soll analog Prüfverfahren ibac - 1 die Haftzugfestigkeit und ggf. das Spannungs-Dehnungs- bzw. Verformungsverhalten ermittelt werden. Zusätzlich zu Prüfverfahren ibac - 1 sollen jedoch bei diesem Verfahren das behinderte Schwinden bzw. die behinderten Verformungen des Mörtels zwischen den Steinproben einschließlich Relaxationseinflüsse und die dadurch zustande gekommene "Resthaftzugfestigkeit" bestimmt werden. Dadurch soll eine bessere Bewertung der Einzeleinflußgrößen ermöglicht werden.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

Zwischen 2 in ihrer Lage fixierten Natursteinproben wird Restauriermörtel bzw. Verfugmörtel praxisgerecht eingebracht. Der so entstandene Verbundprüfkörper kann dann verschiedenen Erhärungs-, Nachbehandlungsbedingungen sowie zusätzlichen Beanspruchungen (s. unter A) ausgesetzt werden. Zu beliebigen Zeitpunkten kann dann durch Einsatz der Herstellvorrichtung in eine Zugprüfmaschine die "Resthaftzugfestigkeit" ermittelt werden. Möglicherweise kann durch Anordnung einer

entsprechenden Kraftmeßdose auch die durch das behinderte Schwinden ausgeübte Zwangskraft ermittelt werden.

3. Geräte

Herstellvorrichtung bzw. Prüfeinsatz nach Bild 2, Zugprüfmaschine mit auf die zu erwartende Haftzugfestigkeit eingestellter Prüfempfindlichkeit sowie ggf. verschiedene Einrichtungen zur Temperatur- und Feuchtebeanspruchung.

4. Prüfkörper

4.1. Maße, Herstellung, Anzahl

Maße

Empfohlene Prüfkörpermaße: Natursteinproben Würfel mit 100 mm Kantenlänge, Mörtelfuge von i. a. 10 bis 20 mm Fugendicke. Soll ausschließlich Verfugmörtel, der praxisnah in die Fuge eingebracht wird, geprüft werden, so empfehlen sich Natursteinproben der Maße 50 mm x 50 mm x 100 mm (Höhe x Breite x Länge).

Herstellung

Soll die Haftzugfestigkeit von Fugenmörtel ermittelt werden, so sollte der Prüfkörper wie folgt hergestellt werden: Einsetzen des unteren Steines und Arretieren; Aufsetzen eines Rahmens auf den unteren Stein, der eine um 5 mm größere Mörtelfugendicke ergibt; Einbringen des Mörtels in den Rahmen, möglichst hohlraumfrei; Abstreichen des Mörtels; Aufsetzen des oberen Steines; Entfernen des Rahmens und Anklopfen des oberen Steines bis die Sollmörtelfugendicke erreicht ist; Abstreichen des überstehenden Mörtels; Arretieren des oberen Steines.

Bei der Prüfung von Verfugmörteln soll der Mörtel praxisnah von einer Seite z. B. mit dem Fugeisen eingebracht werden, wobei ein dreiseitig geschlossener Rahmen zur Fixierung des Verfugmörtels zu empfehlen ist.

Anzahl

Die Prüfkörperzahl sollte mindestens 3, möglichst 5 bis 6 betragen.

4.2. Lagerung

Die Prüfkörper sollten bis zur Prüfung in der Herstelleinrichtung verbleiben, um in etwa bauseitige Verhältnisse nachzustellen - weitgehend eingespannte Natursteine im Mauerwerk. Die Prüfkörper können unterschiedlich nachbehandelt und beansprucht werden. Als Standardvorlagerungen werden empfohlen:

- a) bis zum Alter von 1 Tag im Feuchteschrank bzw. in der Feuchtekammer im Klima 20/95,
- b) bis zum Alter von 3 Tagen wie unter a) gelagert,
- c) bis zum Alter von 7 Tagen wie unter a) gelagert. Danach Lagerung bis zum Alter von 28 Tagen im Normalklima 20/65.

Besondere Beanspruchungen der Prüfkörper sollten i. a. ab einem Alter von 28 Tagen angewendet werden. Solche Beanspruchungen können sein:

- verstärktes Schwinden, z. B. im Klima 20/30;
- Temperaturwechselbeanspruchung, z. B. zwischen +10 °C und +60 °C - siehe auch Prüfverfahren A 12 in /1/ sowie eine Frosttauwechselbeanspruchung z. B. in Anlehnung an Prüfverfahren A 7 in /1/.

5. Prüfung

5.1. Durchführung

Die Herstelleinrichtung wird in die Zugprüfmaschine eingesetzt und die Bodenplatte wird in der Prüfmaschine zentrisch fixiert. Es wird dann die gelenkig an den oberen Stein angeschlossene Zugstange an der Zugprüfmaschine angeschlossen und die untere Arretierung am Rahmen über dem Prüfkörper gelöst. Danach wird der Prüfkörper stetig auf Zug belastet bis der Bruch eintritt. Die Prüfdauer soll etwa 1 min betragen.

5.2. Ergebnis, Auswertung

Aus der Höchstkraft $\max F$ und der beanspruchten Haftzugfläche ist die Haftzugfestigkeit

$$\beta_{\text{HZ}} = \frac{\max F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

zu errechnen. Anzugeben sind Einzelwerte und Mittelwert. Das Bruchbild (Bruchstelle) ist zu beschreiben. Bei zusätzlicher Ermittlung von Dehnungen bzw. Verformungen sind diese ebenfalls für den einzelnen Prüfkörper und, soweit sinnvoll, gemittelt anzugeben und graphisch darzustellen. Aus den Versuchsergebnissen sind nach Möglichkeit zusätzliche Kennwerte wie E-Modul und Dehnung bei Höchstspannung zu bestimmen und anzugeben.

Weitere wichtige Angaben sind:

- Kennzeichnung der verwendeten Natursteinproben und des Mörtels,
- Herstellbedingungen,
- Lagerungsbedingungen und
- ggf. besondere Beanspruchungen.

6. Literaturhinweise

/1/ Knöfel, D. ; Schubert, P.: Zur Beurteilung von Mörteln für die Instandsetzung von Mauerwerk.
In: Bautenschutz und Bausanierung 13 (1990), Nr. 1, S. 10-14, Nr. 2, S. 15-20.

/2/ Metzemacher, H. ; Kraehe, M. ; Schubert, P.: Versuchseinrichtung zur Prüfung der
Zugfestigkeit von Mörtelprismen. In: IBAC Kurzberichte 3 (1990), Nr. 19.

/3/ Metzemacher, H.: Prüfung der Zugfestigkeit mit einer verbesserten Einspannvorrichtung.
Aachen: Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, 1990.

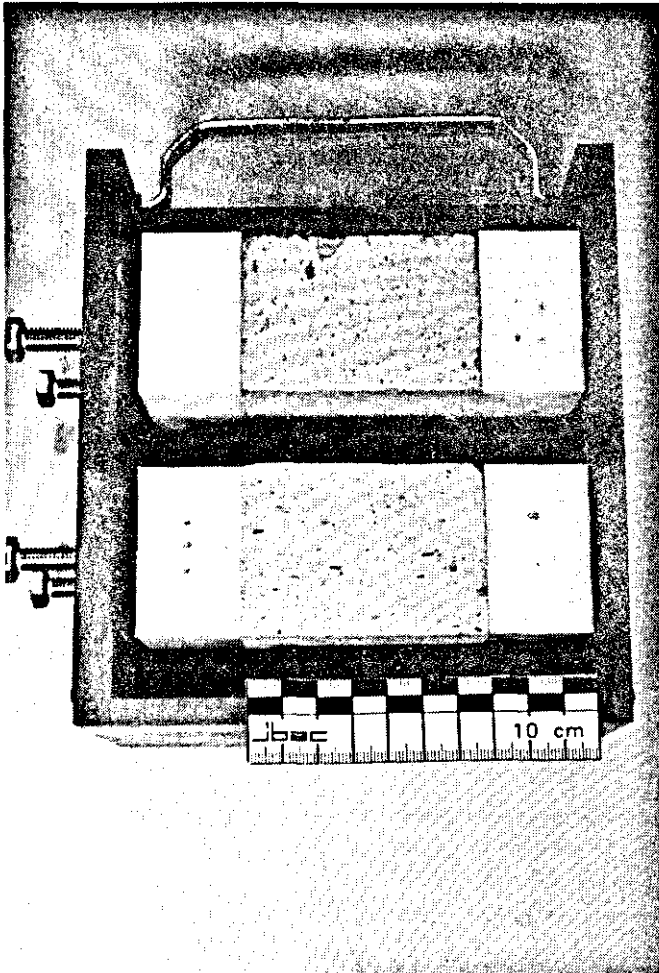


Bild 1: Herstellvorrichtung
Prüfverfahren ibac - 1

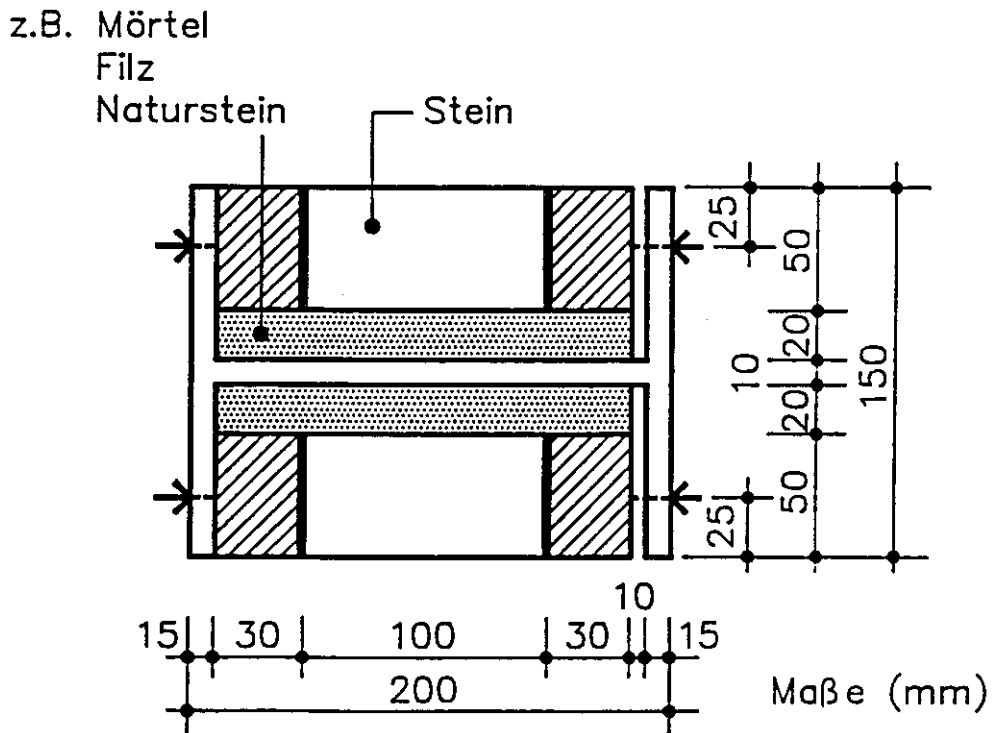
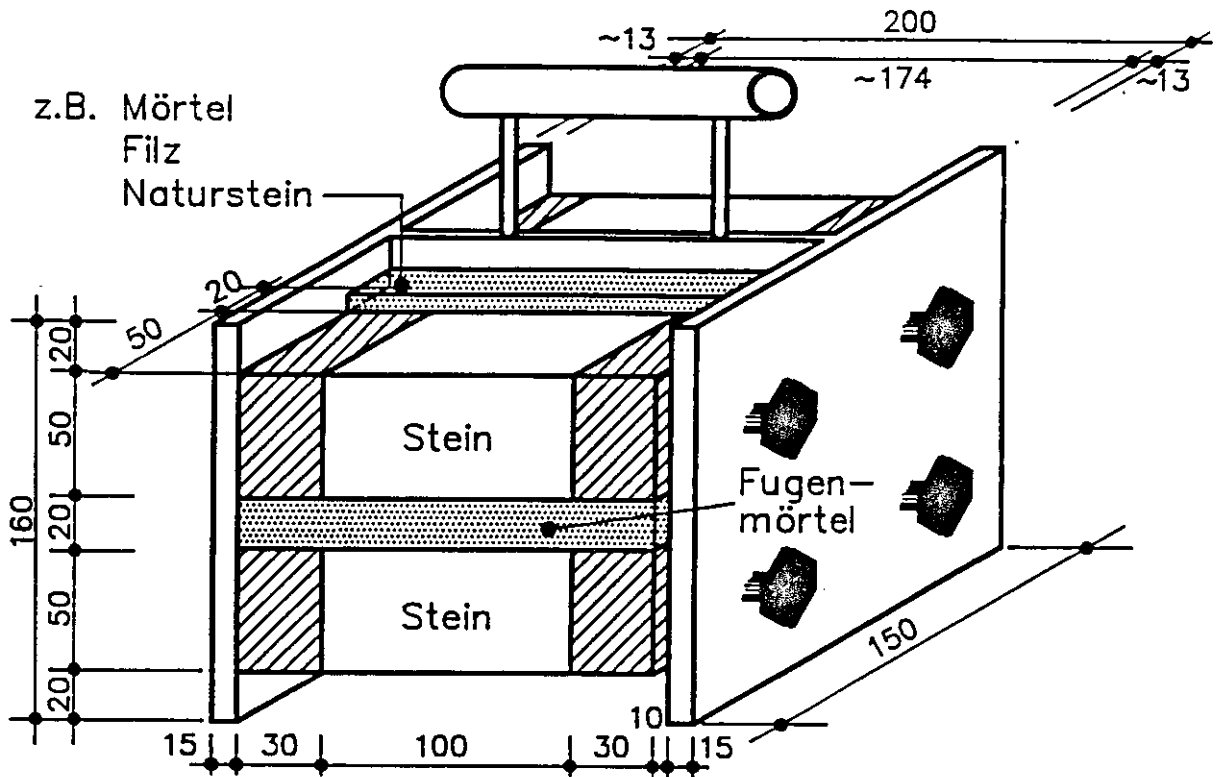


Bild 2: Herstellvorrichtung
Prüfverfahren ibac - 1

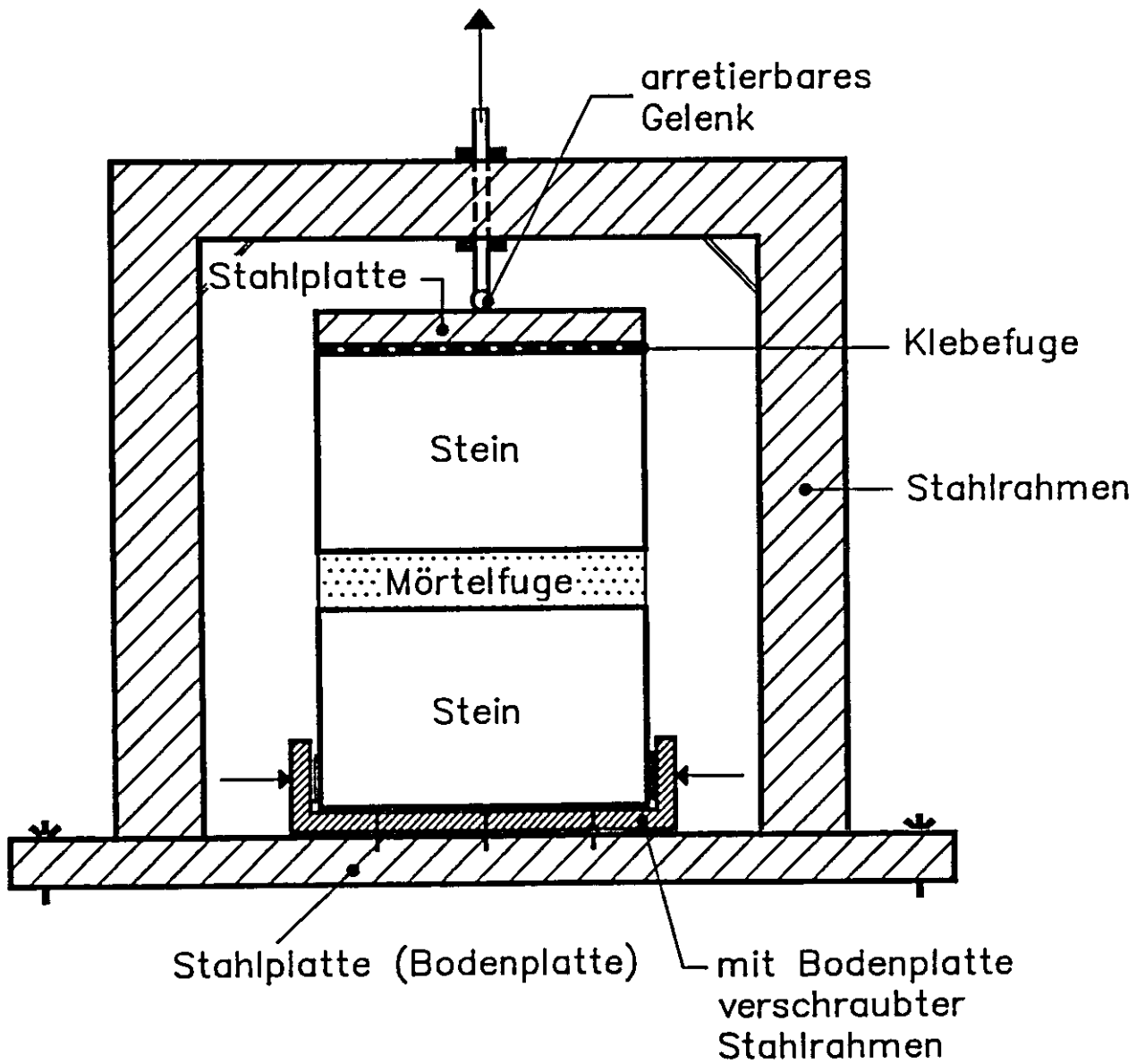


Bild 3: Herstellvorrichtung
Prüfverfahren ibac - 2

Prüfung der Haftzugfestigkeit von Fugenreparaturmörteln für Natursteinmauerwerk

1. Allgemeines, Zweck

Anhand der Haftzugfestigkeit zwischen dem Fugen-Reparaturmörtel und dem Naturstein wird das Verbundverhalten Mörtel/Stein beurteilt. Werden die Gesteinsart, die Prüfkörperherstellung, -behandlung sowie -lagerung unter Berücksichtigung der realen Situation im Bauwerk gewählt, so können Aussagen zur Rißbildungsneigung zwischen Reparaturmörtel und Stein abgeleitet werden.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

In steifen Stahlrahmen werden mehrere, sich jeweils paarweise gegenüberliegende Natursteine in ihrer Lage so fixiert, daß ein gewünschter Fugenspalt entsteht. In diesen wird der Fugenreparaturmörtel eingebracht. Nach bestimmter Erhärtungsdauer beim gewünschten Lagerungsklima werden die aus Stein-Fuge-Stein bestehenden Prüfkörper aus dem Stahlrahmen entnommen. Im zentrischen Zugversuch, ggfs. weg- bzw. dehngesteuert, wird senkrecht zur Mörtelfuge die Zugfestigkeit bzw. Haftzugfestigkeit ermittelt.

3. Geräte

Stahlrahmen zur Steifixierung und Mörtelbringung (s. Bild 1); Einrichtungen zur Wägung und Prüfkörperklimatisierung; Zugprüfmaschine mit hoher Empfindlichkeit.

4. Prüfkörper

4.1 Maße, Herstellung, Anzahl

Es werden Natursteinwürfel mit 10 cm Kantenlänge hergestellt. Die sich später gegenüber befindlichen Steinflächen in der Trennfuge sollen durch einen Sägeschnitt entstandene Flächen sein,

damit an beiden Fugenflanken annähernd identisches Steinmaterial vorliegt. Die später der Mörtelfuge zugewandten Steinflächen können durch mechanische Bearbeitung, durch Vornässen (kapillares Befeuchten, Bespritzen u.a.) und durch den Auftrag von Haftvermittlern den im Bauwerk vorliegenden oder bei der Sanierung vorgesehenen Verhältnissen angepaßt werden.

Zu einer Versuchsserie gehören jeweils 6 Prüfkörper, die im Stahlrahmen gleichzeitig hergestellt werden. Die Prüfkörper werden im Rahmen durch Blechstreifen getrennt. Die einzelnen Steine werden durch Schraubspindeln mit Andrucktellern gegen die Grundplatte gedrückt und dadurch in ihrer Lage fixiert. Der Fugenspalt kann auf die gewünschte Mörtelfugendicke, üblicherweise etwa 1 - 2 cm eingestellt werden. Der Fugenreparaturmörtel wird praxisgerecht, abhängig von den Fugenabmessungen und der Mörtelverarbeitbarkeit, eingebracht (z.B. Einstreichen mit dem Fugeisen, Einstopfen mit dem Stampfholz).

4.2 Lagerung und Prüfaller

Die Prüfkörper sollen möglichst bis zum Zeitpunkt der Prüfung im Herstellrahmen bleiben, da dies die Situation im Bauwerk, nämlich im Mauerwerkverband unverschieblich gehaltene Steine, am zutreffendsten abbildet.

Die Nachbehandlung am Bauwerk wird im Labor durch unterschiedlich lange Feuchtlagerung, vorzugsweise mit Folie und nassen Tüchern, simuliert. Die Nachbehandlungsdauer wird sinnvoll zwischen einem Tag und sieben Tagen variiert.

Im Anschluß sollte üblicherweise sog. Normallagerung bis zur Prüfung bei 20/65 erfolgen. Extreme Witterungsbeanspruchungen können z.B. durch geringere Luftfeuchtigkeit, Temperaturwechsel oder Frosttauwechsel berücksichtigt werden (sinnvoll erst ab einem Alter von mindestens 28 d).

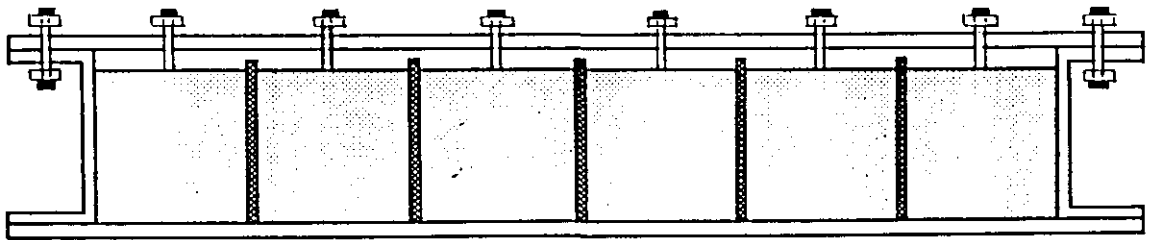
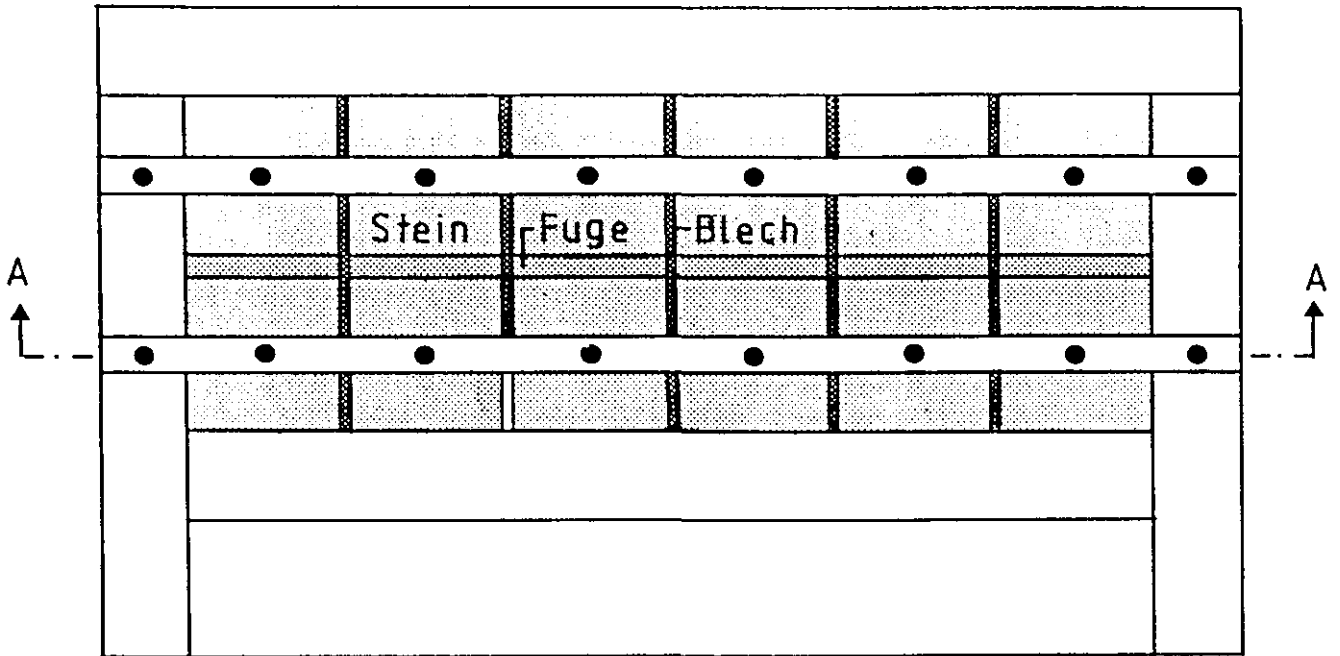
Die Prüfung der Haftzugfestigkeit kann in unterschiedlichem Alter zwischen ca. 7 und 90 Tagen, üblicherweise aber nach 28 d, erfolgen.

5. Prüfung der Haftzugfestigkeit

Die Haftzugfestigkeit wird ermittelt, indem der Prüfkörper mittig und lotrecht zur Fuge mit stetig steigender Zugkraft belastet wird, bis der Bruch durch Trennung des Prüfkörpers erfolgt. Die Kraft soll zügig gesteigert werden, so daß der Bruch nach etwa ein bis zwei Minuten eintritt.

Zur Einleitung der Zugkraft werden Stahlplatten auf die von der Fuge abgewandten Steinflächen geklebt und in geeigneter Weise mittig und gelenkig an das Ober- und Unterhaupt der Prüfmaschine angeschlossen. Mittels Wegaufnehmern oder DMS-Clips, die unmittelbar über und unter der Fuge am Stein befestigt werden, kann die Dehnung insbesondere in der Fuge gemessen werden. Hierdurch können der Zug-Elastizitätsmodul und die Zug-Bruchdehnung mit bestimmt werden. Bei ausreichend genauer Steuerung der Maschine können die Meßaufnehmer zur Wegregelung des Zugversuchs eingesetzt werden. So können vollständige Spannung-Dehnungsbeziehungen einschl. post-peak-Verhalten erhalten werden.

Die Haftzugfestigkeit ist der Quotient aus der höchsten Zugkraft und der zugbeanspruchten Mörtelfläche. Es sollten der Mittelwert und der Variationskoeffizient angegeben werden. Ort und Bild des Bruches sind zu beschreiben.



Schnitt A - A

Bild 1: Stahlrahmen zur Prüfkörperherstellung

Messung thermischer und hygrischer Dehnungen an Mörtel/Stein-Verbundkörpern

1. Allgemeines, Zweck

Die Kenntnis der freien, thermisch und/oder hygrisch induzierten Dehnungen von Mörtel/Stein-Verbundkörpern erlaubt Rückschlüsse auf die sich im Mauerwerk einstellenden Zwängungsspannungen durch Temperatur- und Feuchteänderungen. Dadurch kann die Reißempfindlichkeit des reparierten Mauerwerks eingeschätzt werden.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

Aus Stein-Fuge-Stein bestehende Prüfkörper (s. Prüfung der Haftzugfestigkeit) werden versiegelt, so daß nur eine Körperfläche (Mauerwerkansichtsfläche) frei bleibt. Der Prüfkörper wird unterschiedlichen, auch wechselnden Klimata ausgesetzt, und die Längenänderungen des Prüfkörpers werden gemessen.

3. Geräte

Stahlrahmen zur Steifixierung und Mörtleinbringung (s. Prüfung der Haftzugfestigkeit); Einrichtungen zur Wägung und Prüfkörperklimatisierung; Einrichtungen zur Messung der Längenänderungen (z.B. Setzdehnungsmesser).

4. Prüfkörper

4.1 Maße, Herstellung, Anzahl

S. "Prüfung der Haftzugfestigkeit von Fugenreparaturmörteln für Natursteinmauerwerk" (Abschn. 4.1).

4.2. Lagerung und Prüfalter

Die Fixierung der Steine wird baldmöglichst nach dem Einbringen des Fugenmörtels (i.d.R. nach etwa 2 - 3 Tagen) gelöst. Die Feuchthaltung erfolgt mit nassen Tüchern und Folie. Auf die Steine und über die Fuge hinweg werden Meßmarken geklebt, und die Verformungen werden z.B. mittels Setzdehnungsmesser gemessen. Hierzu wird die Folie kurzzeitig entfernt.

Nach ausreichender Erhärtungszeit (i.d.R. ≥ 3 Tage) werden die Prüfkörper entschalt und bis auf die Vorderseite, von der der Fugenmörtel eingebracht worden ist, versiegelt. Hierfür kommen vor allem mehrkomponentige Beschichtungsstoffe infrage. Anschließend werden auch auf die versiegelten Flächen über die Fuge hinweg Meßmarken geklebt.

Die Prüfkörper werden dann langfristig den gewünschten Klimabedingungen ausgesetzt. Diese können sein:

- stark austrocknend, z.B. bei 20 °C/30 % r.F. oder bei erhöhter Temperatur, z.B. 40 °C/30 % r.F.
- Feuchtechselbeanspruchung, z.B. wöchentlicher oder monatlicher Wechsel zwischen 20 °C/65 % r.F. und 20 °C/99 % r.F.
- Temperaturwechselbeanspruchung, z.B. zwischen 10 °C und 60 °C oder auch Frosttauwechsel.

5. Prüfung

Gemessen werden die Prüfkörpermasse und die Längenänderung auf jeder Meßbasis. Für Messungen über der Fuge bietet sich die Meßbasis 40 mm an, für Messungen auf dem Stein 100 mm. Die erste Messung erfolgt möglichst frühzeitig, direkt nach dem Lösen der Steinfixierung. Feuchteverlust muß bis dahin auf jeden Fall vermieden werden, da diese Ausgangsmessung den Bezugswert liefert. Weitere Meßtermine können sein: 1, 3, 7, 28 d; 1, 2, 3 mon. nach der Ausgangsmessung. Während der ersten Tage nach einem Klimawechsel sollten die Meßintervalle verkürzt werden. Masseänderungen werden registriert; nach Versuchsende werden, sofern möglich, die Haftzugfestigkeit gemessen und die Trockenmasse bestimmt.

Testmethoden für Injektionsmörtel

I. Labortests für Vorversuche

A. Sedimentation

1. Allgemeines/Zweck

Das Verfahren dient dazu, einen Anhaltswert für die Sedimentation (Wasserabsonderung) der Injektionsmörtel zu erhalten.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

Der zu prüfende Injektionsmörtel wird in ein Reagenzglas gefüllt und nach bestimmten Zeitabständen wird die Wasserabsonderung gemessen.

3. Geräte

Reagenzgläser, Zentimetermaß, Uhr

4. Prüfung

a. Durchführung

Injektionsmörtel wird wie für den späteren Anwendungszweck hergestellt und in ein Reagenzglas gefüllt (Füllhöhe 12 cm). Dann wird das Glas vorsichtig mit einem Gummistopfen luftdicht abgeschlossen und nach 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h und 24 h wird die Höhe des sich absetzenden Wassers (in mm) gemessen sowie sonstige optische Veränderungen bestimmt. Es sollten mindestens Doppelprüfungen durchgeführt werden. (Variante der Prüfmethode B1 (*D. Knöfel, P. Schubert*))

b. Ergebnisse, Auswertung

Gemessen wird die Wassersäule in cm ($\pm 0,1$ cm), die auf dem Mörtel nach 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h und 24 h entstanden ist. Für jeden Meßtermin ist der Mittelwert aus den Einzelwerten mit Abweichung anzugeben und eventuell auftretende optische Veränderungen zu beschreiben.

B. Penetration in mit Sand gefüllte Gläser

1. Allgemeines/Zweck

Mit diesem Versuch kann die Penetration des Mörtels getestet werden. Es soll gezeigt werden, wie der Mörtel sich bei der Verfestigung anderer Mörtel und bei Injektionen in kleine Hohlräume verhält.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

In den Behälter mit dem ausgewählten (dem späteren Anwendungsfall entsprechenden) getrockneten Sand wird der Mörtel gegeben, bis er nicht mehr eindringt. Diese Eindringtiefe wird nach den vorgegebenen Zeiträumen bestimmt.

3. Geräte

Durchsichtige Behältnisse mit Sandfüllung (Durchmesser des durchsichtigen Behältnisses : maximale Körngröße des verwendeten Sandes $\approx 10 : 1$), Zentimetermaß, Uhr. Statt unten geschlossenen Behältnissen können auch U-Rohre verwendet werden, um eine Entlüftung während des Eindringens des Mörtels zu ermöglichen.

4. Prüfung

a. Durchführung

Ein durchsichtiger Behälter (z.B. ein Reagenzglas) wird mit einer getrockneten Sandmischung (für Referenzuntersuchungen Normsand nach DIN 1164 bzw. zukünftiger EN) bis auf eine Höhe von 12 cm aufgefüllt. Der Injektionsmörtel wird vorsichtig mit einem ständigen Überstand von 2 cm solange auf dieses Sandbett gegeben, bis er nicht weiter in den Sand eindringt. Nach 15 min, 30 min, 1 h und 2 h wird die Eindringtiefe des Mörtels in das Sandbett gemessen. Es sollten mindestens Doppelprüfungen durchgeführt werden.

b. Ergebnisse, Auswertung

Es wird die Eindringtiefe des Mörtels nach 15 min, 30 min, 1 h und 2 h mit dem Zentimetermaß auf 1 mm genau bestimmt. Für jeden Meßtermin ist der Mittelwert aus den Einzelwerten mit Abweichung anzugeben.

C. Penetration in mit Sand gefüllte Prismenformen

1. Allgemeines/Zweck

Bei diesem Versuch wird die Festigkeit von in Sand eingedrunenem Mörtel bestimmt. Auf diese Art läßt sich feststellen, ob sich der Injektionsmörtel zum Verfestigen von vorhandenem Mörtel bzw. vorhandenem Sand eignet.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

In mit getrocknetem Sand gefüllte Prismenformen (je nach verwendeter Korngröße ist die Prismengröße zu wählen) wird zügig Mörtel geschüttet, bis die Form gefüllt ist. Nach 1-5 Tagen

Lagerung (je nach Bindemittel) wird ausgeschalt. Die Festigkeit der Prismen wird an einem festgesetzten Prüftermin bestimmt. Die Querschnitte der Prismen werden auf eine eventuelle Entmischung hin geprüft.

3. Geräte

Prismenformen (1,5 cm × 1,5 cm × 6,0 cm oder 4 cm × 4 cm × 16 cm), Feuchteschrank zur Lagerung der Prismen, Druckprüfmaschine

4. Prüfung

a. Durchführung

Die Prismenformen werden mit getrocknetem Sand (z.B. Korngröße 1-2 mm, je nach späterem Anwendungszweck) gefüllt und bündig abgestrichen. Der Injektionsmörtel wird über den Sand in die Form geschüttet, bis die Form vollständig gefüllt ist. Die Prismen werden nach ein bis fünf Tagen Lagerung im Klima 20/95 (je nach Bindemittel) ausgeschalt und im Normalklima bis zur Bestimmung der Druckfestigkeit gelagert. Die Prüfung erfolgt in Anlehnung an DIN 1164 bzw. zukünftiger EN. Die Prismenquerschnitte sind auf Entmischung zu überprüfen (evtl. mikroskopisch).

b. Ergebnisse, Auswertung

Für die Beurteilung, ob sich der Mörtel für die Verfestigung von Sand der getesteten Korngröße eignet, sind der Mittelwert der Druckfestigkeit der Prismen (mindestens drei Prismen) und ihre makroskopische Beschaffenheit anzugeben.

D. Fließverhalten

1. Allgemeines/Zweck

Dieses Verfahren ist eine einfache Möglichkeit, die Viskosität des Mörtels zu beschreiben.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

Eine bestimmte Menge fließfähigen Mörtels wird in einen Trichter gefüllt, und die Zeit gemessen, bis 50 ml des Mörtels aus dem Trichter in einen Behälter gelaufen sind.

3. Geräte

Haushaltstrichter, Schlaucholive, Schlauchklemme, Stück Schlauch, Becherglas 100 ml, Stoppuhr, Stativ

4. Prüfung

a. Durchführung

Ein Haushaltstrichter mit einem Gummischlauch und einer Schlaucholive daran wird mit Wasser vorgenäßt und in Höhe des Gummischlauchs mit einer Schlauchklemme verschlossen. Der Injektionsmörtel wird in den Trichter gefüllt, bis er eine bestimmte Markierung erreicht. Bei Öffnen der Schlauchklemme wird die Stoppuhr in Gang gesetzt und sobald der Auffangbecher mit 50 ml Mörtel gefüllt ist, die Uhr gestoppt, gleichzeitig kann die Klemme verschlossen werden. Bei einer "Nullmessung" mit Wasser beträgt die Durchlaufzeit ca. 5 Sekunden. Die Olive dient dazu die Verwirbelungen nachzustellen, die durch einen unterschiedlich dicken Durchlaufkanal (wie in einem Sandbett vorhanden) entstehen können. Es sollten mindestens Doppelprüfungen durchgeführt werden.

b. Ergebnisse, Auswertung

Der Mittelwert der Einzelmessungen mit Abweichungen ist auf 0,5 Sekunden genau anzugeben.

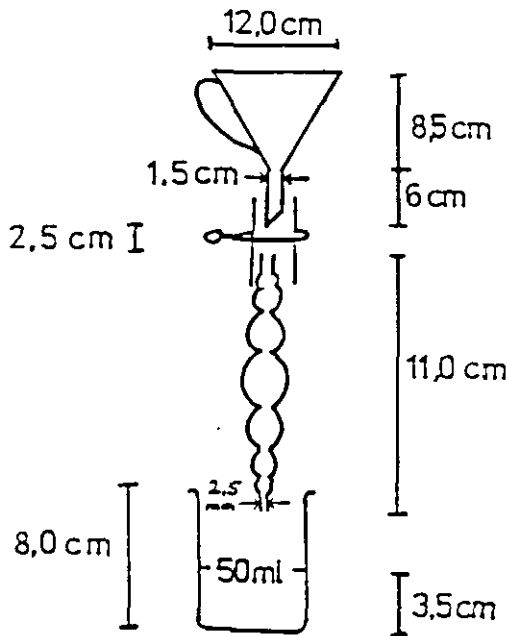


Abb.: Versuchsaufbau des Fließverhaltentests

II. Injektionstests

A. Injektionswürfel

1. Allgemeines/Zweck

Die Prüfung ist ein Vorversuch für Injektionen in Problem mauern. Es wird hierbei geprüft, wie gut der Mörtel die vorhandenen Hohlräume verfüllt. "Nullwürfel" wären sinnvoll, wenn sie exakt und

reproduzierbar herstellbar wären. Sie können jedoch zur Zeit nicht vorgeschlagen werden. Zu berücksichtigen wären dabei: 1. Bruchsteinmaterial (z.B. Kalksandstein, Klinker), Bruchsteinmenge, Größe der Bruchsteine; 2. Mörtelart, Mörtelmenge, w/b-Wert, Zuschlagsmaterial, Zuschlagsmenge.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

In eine Metallform für Betonwürfel wird eine Schüttung aus Bruchsteinen und Mörtelresten gefüllt. Diese Form wird mit Injektionsmörtel von oben verfüllt. Nach einer zu vereinbarenden Zeit werden die Würfel ausgeschalt und nach einer festgelegten Standzeit zersägt.

3. Geräte

Metallform für Betonwürfel (z.B. 20cm × 20cm × 20cm oder 30cm × 30cm × 30cm), Schüttmaterial, Steinsäge

4. Prüfung

a. Durchführung

In eine Metallform für Betonwürfel (z.B. 20cm × 20cm × 20cm oder 30cm × 30cm × 30cm) wird eine Schüttung aus Bruchsteinen und Mörtelresten gefüllt. Die Füllung der Würfelform soll in Materialart und Porenraum dem Anwendungsfall möglichst weitgehend entsprechen. Diese Form wird mit Injektionsmörtel von oben verfüllt.

Nach einer zu vereinbarenden Zeit wird der Würfel mindestens vertikal (i.d. Regel mittig) zersägt (evt. auch horizontal) und der Grad der Verfüllung bestimmt.

b. Ergebnisse, Auswertung

Es ist zu bestimmen:

1. Verfüllungsgrad

a. gekennzeichnet durch das Gewicht vor und nach der Verfüllung
(Verhältniswert)

b. nach Augenschein

2. Entmischung über den Querschnitt (nach Augenschein)

3. evtl. Druckfestigkeit

B. Injektionsmauern

1. Allgemeines/Zweck

Diese Test des Injektionsverhaltens des Mörtels sind als Vorstufe bzw. Alternative zu Injektionsversuchen an den später zu injizierenden Gebäuden gedacht.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

In die zweischaligen Mauern wird Mörtel injiziert. Nach einer Standzeit wird eine Mauerwerkschale abgetragen und der Grad der Verfüllung bestimmt.

3. Geräte

Ausrüstung zum Injizieren von fließfähigem Mörtel, Probemauern.

4. Prüfung

a. Durchführung

Es werden zweischalige Probemauern mit einer zwischenliegenden Schüttung angefertigt. Die Materialien der Mauer und der Schüttung sollten den Materialien an den späteren Objekten angepasst werden. Mit den zur Zeit üblichen Injektionsmethoden wird dann der Injektionsmörtel injiziert. Nach einer zu vereinbarenden Standzeit der Mauer wird die Rückwand abgetragen (bzw. Bohrkern entnommen) und der Grad der Verfüllung bestimmt. Es besteht auch die Möglichkeit, Verbundkörper aus diesen Mauern für weitere Tests beim Abtragen zu gewinnen.

b. Ergebnisse, Auswertung

Es ist der Druck beim Injizieren, die Außen- und die Mörteltemperatur, die injizierte Mörtelmenge, die Standzeit der verfüllten Mauer und der Verfüllungsgrad anzugeben.

III. Verbundtests

A. Haftzugfestigkeit

1. Allgemeines/Zweck

Dieses Verfahren dient dazu, die Haftzugfestigkeit des Injektionsmörtels zu messen, die wichtig ist für die Beurteilung, ob der Mörtel sich zur Verfestigung von Mauerpartien eignet.

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

Der Injektionsmörtel wird auf gesandstrahlte und vorgesenkte Steine gegossen, die umgeben sind mit einem Metallrahmen. Nach Beginn der Erhärtung werden mit Kegelstumpfringen Kreise in den Mörtel

gedrückt und danach die Kegelstumpfringe wieder entfernt. Nach einer Lagerung wird die Haftzugfestigkeit in Anlehnung an DIN 18555, Teil 6 bestimmt.

3. Geräte

Haftzugprüfgerät, Kegelstumpfringe ($d = 5 \text{ cm}$)

4. Prüfung

a. Durchführung

Der Injektionsmörtel wird auf gesandstrahlte und vorgehästete Steine gegossen, die umgeben sind mit einem 1 cm hohen Rahmen z.B. aus Metall (es sollten die gleichen Steine mit einer entsprechenden Oberfläche sein, wie sie bei der späteren Anwendung im Kontaktbereich vorhanden sind). Nach Beginn der Erhärtung (je nach Bindemittel etwa 30 Minuten bis 2 Stunden) werden mit Kegelstumpfringen ($d = 5 \text{ cm}$) je Stein 5 Kreise in den Mörtel gedrückt und danach die Kegelstumpfringe wieder entfernt. Der Mörtel für die Haftzugfestigkeit sollte einen geringeren w/b -Wert besitzen als der zur Injektion verwendete. Es sollten 2 oder 3 unterschiedliche w/b -Werte getestet werden.

Die Prüfung erfolgt nach 28 Tagen (Lagerung 14 Tage in Klima 20/95, danach bis zur Prüfung bei 20/65). Für die Prüfung werden die Prüfstempel ($d = 5 \text{ cm}$) mit geeignetem Kleber auf die Mörtelkreisflächen geklebt und es wird mittels Haftzuggerät die Haftzugfestigkeit gemessen.

b. Ergebnisse, Auswertung

Es sind die Mittelwerte aus den 5 Einzelmessungen mit Abweichungen anzugeben ebenso die Arten der Brüche (im Mörtel, im Stein oder an der Grenze Mörtel / Stein).

B. Verbundkörper für die chemische Verträglichkeit von Injektionsmörtel / Stopfmörtel

1. Allgemeines/Zweck

Diese Verbundkörper dienen zur Untersuchung der chemischen Verträglichkeit zwischen Injektionsmörtel und Stopfmörtel. Eine vereinfachte Prüfung der Verträglichkeit ist die Herstellung von Normprismen, die zur Hälfte aus Stopfmörtel und zur Hälfte aus Injektionsmörtel besteht (nach Erstarren des Stopfmörtels wird der Injektionsmörtel in die Form eingebracht).

2. Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

Zwischen zwei Steinen wird auf Sand Stopfmörtel eingebracht. Kurz nach dem Erstarren wird die Form gedreht, der Sand entfernt und stattdessen mit Injektionsmörtel gefüllt.

3. Geräte

Metallplatte, Glasplatten, Klemmen, Stopfer, Steine

4. Prüfung

a. Durchführung

Es werden zwei Steine (10cm × 10cm × 5cm) an einer Metallplatte befestigt (z.B. fest geklemmt) und von vorn und hinten mit zwei Glasplatten abgedichtet. Zwischen die Steine wird eine Lage Sand eingebracht, die später durch Injektionsmörtel ersetzt wird. Danach wird Stopfmörtel eingebracht. Kurz nach dem Erstarren des Stopfmörtels wird die Form gedreht und der Sand entfernt. In diesen Hohlraum wird der Injektionsmörtel eingefüllt. (Siehe Abbildung 1 und 2, Prüfverfahren ibac-3). Die Lagerung erfolgt im Klima 20/95 oder in Kunststoffolie bei 20°C (ggf. auch bei 5/95).

b. Ergebnisse, Auswertung

Es ist Folgendes anzugeben:

- Beurteilung der Kontaktzonen Mörtel/Stein und Mörtel/Mörtel nach Augenschein oder mikroskopisch;
- Ausblühtest (s. *D. Knöfel, P. Schubert; B6*)

IV. Literatur

Knöfel, D.; Schubert, P. "Zur Beurteilung von Mörteln für die Instandsetzung von Mauerwerk, Teil 1 und 2"; *Bautenschutz und Bausanierung* 13 (1990) [10-20]

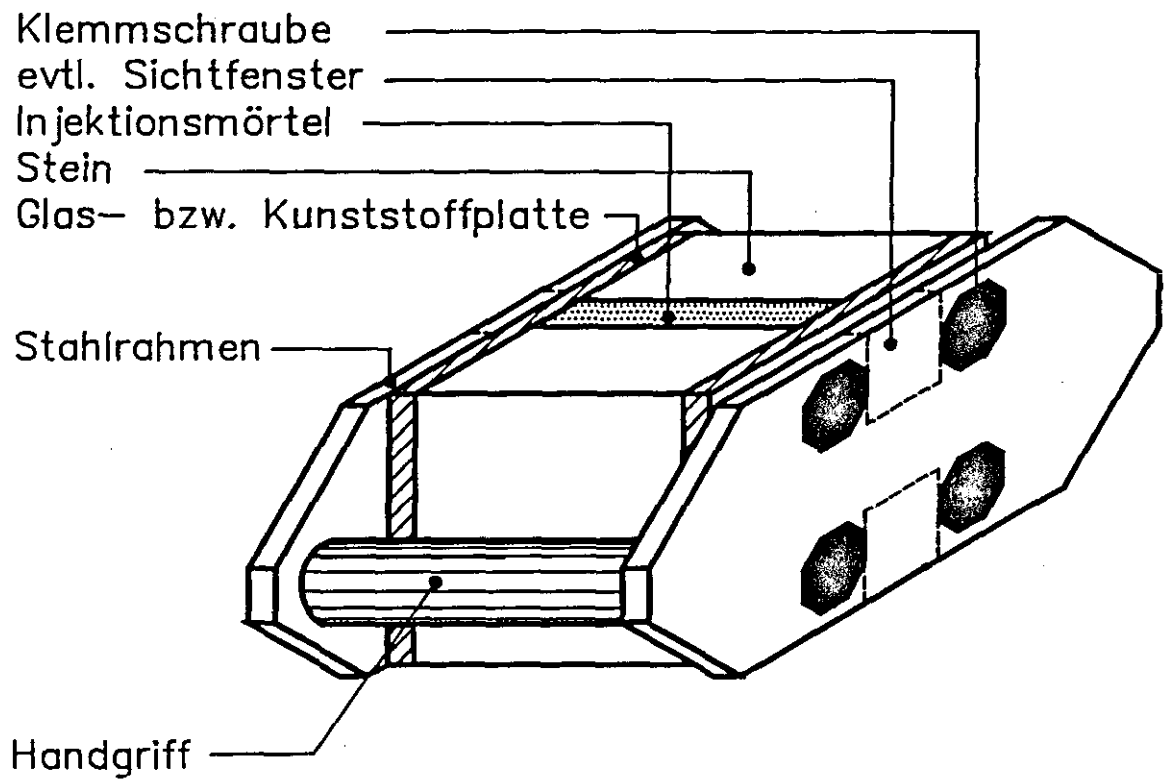


Abb. 1: Versuchsaufbau des Fließverhaltentests
(Prüfverfahren ibac-3)

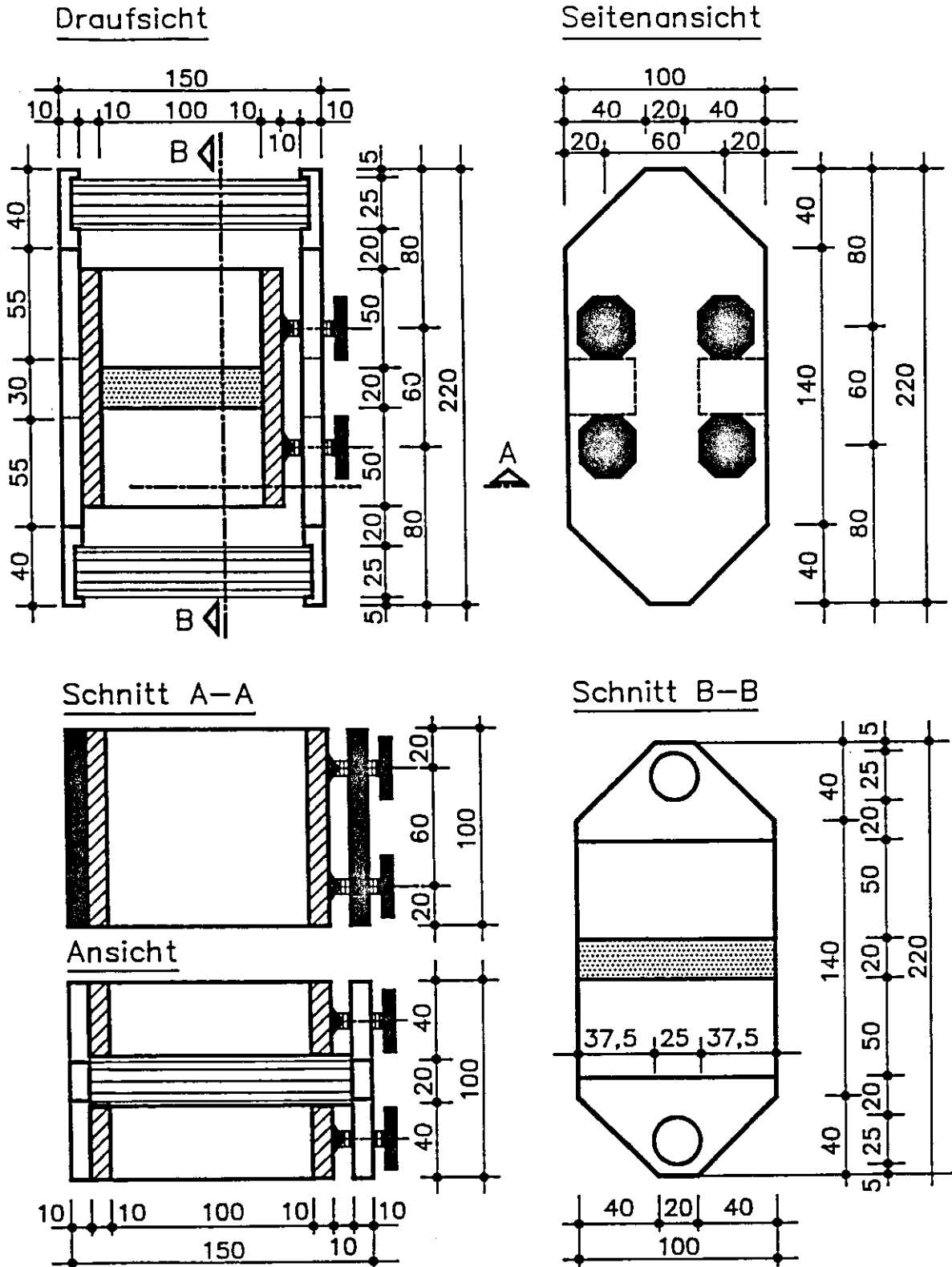


Abb. 2: Versuchsaufbau des Fließverhaltentests
(Prüfverfahren ibac-3)

